

Analisis Teknik dan Ekonomi Pemanfaatan Biomassa sebagai Pembangkit Energi Listrik di Surabaya

Muhyiddin Azmi, Gunawan Nugroho, Sarwono

Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: muhyiddin10@mhs.ep.its.ac.id

Abstrak— Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui potensi pemanfaatan biomassa di Surabaya sebagai pembangkit energi listrik, menentukan teknologi yang digunakan, menghitung kapasitas daya yang bisa dibangkitkan dan melakukan analisis emisi yang bisa diturunkan. Potensi harian biomassa di Surabaya sebesar 1245 ton yang keseluruhan dimanfaatkan sebagai bahan bakar pembangkit energi listrik dengan melakukan analisis teknik dan ekonomi untuk mengetahui kelayakan pembangkit yang akan diimplementasikan. Potensi tersebut menghasilkan kapasitas daya sebesar 124 MW dengan biaya investasi sebesar Rp 932.000.300.000. Perhitungan Analisis teknik dan ekonomi didapatkan NPV yang bernilai positif, IRR sebesar 47,63% dan PBP pada tahun ke- 3. Pengoperasian PLT Biomassa dapat mereduksi emisi sekitar 687813,12 tCO₂/tahun.

Kata Kunci— Biomassa, Gasifikasi, Investasi, PLT Biomassa

I. PENDAHULUAN

KOTA Surabaya merupakan kota metropolitan terbesar setelah Kota Jakarta dengan jumlah penduduk mencapai 3.125.576 jiwa pada tahun 2012 [1]. Pada rentang sepuluh tahun ini, Kota Surabaya mengalami peningkatan jumlah penduduk sebesar 1,25% akibat laju pertumbuhan ekonomi di kota dan mengalami perubahan gaya hidup karna peningkatan pendapatan. sehingga konsumsi melonjak yang pada akhirnya kondisi sampah di Surabaya meningkat dan menimbulkan masalah lingkungan akibat timbunan sampah yang mengalami dekomposisi dan akan menghasilkan gas metana (CH₄) dan gas karbondioksida (CO₂) dari proses degradasi sampah organik yang menyebar di udara [2, 3, 4, 5]. Pada tahun 2002 jumlah timbunan sampah di Surabaya sebesar 8700 m³/hari namun pada tahun 2012 jumlah timbunan menjadi 9234,08 m³/hari atau setara 1864,816 Ton/hari-nya dan akan bertambah seiring pertumbuhan penduduk [6, 7].

Berdasarkan hal diatas, maka perlu dilakukan pengurangan timbunan sampah melalui pengolahan yang tepat. Pada Undang-Undang no.18 tentang pengelolaan sampah di bagian ke tiga membahas pemanfaatan sampah yang ada dengan digunakan sebagai sumber energi terbarukan [8]. Kepedulian pemerintah dalam mengurangi volume sampah dituangkan dalam bentuk sasaran bauran energi primer nasional 2025 yaitu kebijakan dalam pengurangan konsumsi bahan bakar fosil dan meningkatkan penggunaan energi baru terbarukan (EBT) yang menjadi salah satu upaya untuk memenuhi target bauran energi nasional dengan penggalakkan biomassa sebagai sumber energi [9, 10]. Kota Surabaya sangat potensial dalam pengembangan pembangkit listrik tenaga biomassa karena

diperkirakan volume sampah akan meningkat seiring laju pertumbuhan ekonomi [3].

Biomassa di Surabaya yang akan dijadikan sumber energi alternatif merupakan sampah organik di TPA Benowo, hal ini dapat membantu dalam mengurangi permasalahan cadangan minyak sekaligus meningkatkan nilai guna material yang berpotensi menghasilkan nilai ekonomi yang tinggi dari hasil penjualan, walau awalnya membutuhkan investasi yang besar untuk pembangunan infrastruktur namun sangat menguntungkan bagi masa mendatang.

Penelitian ini menggunakan metode gasifikasi. gasifikasi selain menghemat dan mempunyai efisiensi cukup tinggi, metode ini mampu mengekstraksi energi yang dikandung oleh bahan bakar padat secara maksimal. Metode ini dapat menggunakan berbagai macam bahan bakar padat yang mempunyai nilai kalor relatif rendah, kadar air yang cukup tinggi serta polutan berbahaya yang dikeluarkan relatif rendah [11]. pada metode ini sampah yang telah disolidifikasi dan dikeringkan dimasukkan ke dalam gasifier untuk mengalami proses perubahan menjadi gas tanpa melalui proses pembakaran (*pyrolysis*). Hal ini dimungkinkan karena jumlah udara dalam gasifier diatur sedemikian rupa sehingga tidak sampai terjadi pembakaran. Gasifikasi pada prinsipnya adalah mengkonversi sampah menjadi *syngas* melalui proses pemecahan rantai karbon dari biomassa menjadi gas CO, CO₂, CH₄ dan H₂ [12]. *Syngas* yang keluar dari reaktor kemudian dibersihkan untuk menghilangkan partikulat-partikulat dari reaktor, sulfur, klorida/gas asam (HCl) dan logam berat (Hg). Kemudian *syngas* dikirim ke *gas engine* untuk dijadikan sebagai pembangkit.

II. URAIAN PENELITIAN

Penelitian pada Tugas Akhir ini melalui beberapa tahapan. Penelitian yang dikaji yaitu pemanfaatan sampah organik (Biomassa) menjadi pembangkit energi listrik dengan metode gasifikasi. Serta dilakukan analisis teknik dan ekonomi terhadap pembangkit. tahapan penelitian akan dijelaskan secara rinci dibagian bawah:

A. Perhitungan Potensi Biomassa dan Energi yang dihasilkan

Pada Penelitian ini, potensi biomassa di Surabaya sebagai studi kasus untuk mendapatkan listrik tenaga biomassa. Potensi biomassa yang ada diperhitungkan secara keseluruhan untuk di konversi sebagai pembangkit tenaga listrik. Perhitungan diharapkan mendapat suatu model pembangkit yang sesuai dengan potensi tempat studi kasus.

Perhitungan dilakukan berdasarkan Pembangkit yang akan dijadikan penelitian. Perhitungan kapasitas daya yang dibangkitkan perlu mengetahui efisiensi dari metode pembangkit yang digunakan. Efisiensi Termal adalah rasio antara kerja netto dan kalor yang ditambahkan pada siklus atau instalasi daya. Efisiensi termal diantaranya adalah efisiensi bruto (*gross efficiency*) adalah efisiensi yang dihitung atas dasar kerja bruto atau daya bruto turbine generator. Kerja atau daya MW bruto, adalah yang dihasilkan sebelum sebagian daya diambil untuk menjalankan instalasi daya itu sendiri, yaitu untuk menjalankan pompa, kompresor, peralatan penanganan bahan bakar, alat-alat lain, laboratorium, komputer, penerangan kantor dan sebagainya.

Efisiensi netto (*net efficiency*) dihitung atas dasar kerja atau daya netto instalasi daya yang nantinya akan dijual kekonsumen. Efisiensi netto didapat dari pengurangan daya bruto dengan daya yang diambil untuk keperluan intern seperti yang di maksud diatas. Selain dari itu ada sebuah parameter yang tak kalah pentingnya yaitu suatu parameter yang mudah menggambarkan konsumsi bahan bakar yang disebut dengan laju kalor (heat rate, HR). Laju kalor adalah jumlah kalor yang ditambahkan, biasanya dalam Btu, untuk menghasilkan satu satuan jumlah kerja, biasanya dalam kilowatt-jam (kWh). Jadi satuan laju kalor adalah Btu/jam. Laju kalor (HR) berbanding terbalik dengan efisiensi, artinya makin rendah laju kalor maka makin baik sebab efisiensi menjadi besar [13].

$$\text{HR Pusat Bruto} = \frac{\text{Laju Penambahan Kalor ke Pembangkit (Btu)}}{\text{Daya Pusat Bruto (kW)}} \dots\dots\dots (2.1)$$

Oleh karena itu 1kWh = 3412 Btu, setiap laju kalor itu berhubungan dengan efisiensi termal yang bersangkutan sebagai berikut:

$$\text{HR (Laju Kalor)} = \frac{3412 \text{ Btu}}{\eta_{th}} \dots\dots\dots (2.2)$$

Bila efisiensi dan laju kalor instalasi daya dinyatakan tanpa penjelasan, maka biasanya yang dimaksud adalah efisiensi dan laju kalor pusat netto. Laju penambahan kalor ke pembangkit dapat dicari dari hasil perkalian antara laju pembakaran dari bahan bakar yang dihabiskan perhari dengan nilai kalor dari bahan bakar tersebut. Laju pembakaran bahan bakar diperoleh dari banyaknya bahan bakar yang dihabiskan perhari.

B. Penentuan Lokasi PLT Biomassa

Aspek - aspek yang digunakan untuk penentuan lokasi PLT Biomassa seperti Aspek yang dilakukan dalam membangun PLTU, yaitu sebagai berikut [14]:

1. Aspek fisik lokasi

Aspek fisik lokasi berkaitan dengan kondisi dan karakteristik fisik lokasi yang ditunjukkan oleh kondisi umum, kondisi geologi, kondisi lingkungan dan sarana penunjang yang terletak pada lokasi yang bersangkutan. Penilaian aspek ini berdasarkan beberapa faktor di antaranya data seismik (gempa), data hasil survei penyelidikan tanah untuk penentuan kedalaman pondasi tiang bor, serta peta topografi lahan.

2. Aspek kelistrikan

Aspek kelistrikan berkaitan dengan kondisi dan karakteristik yang berpengaruh terhadap masalah kelistrikan yang ditunjukkan oleh parameter jarak terdekat terhadap jaringan transmisi.

3. Aspek jalan masuk

Aspek jalan masuk berkaitan dengan kemudahan aksesibilitas lokasi yang akan mempengaruhi biaya transportasi.

4. Aspek bahan bakar dan air

Aspek bahan bakar dan air berkaitan dengan ketersediaan bahan bakar dan air di lokasi tersebut. Bahan bakar dalam hal ini adalah limbah sampah biomassa.

5. Aspek lingkungan

Aspek lingkungan berkaitan dengan kondisi lingkungan pada saat ini serta dampak yang mungkin timbul dengan didirikannya pembangkit listrik.

6. Aspek biaya

Aspek biaya berkaitan dengan biaya investasi dan biaya operasi pembangkit pada tiap-tiap lokasi yang dipilih, oleh karena itu menjadi faktor yang sangat dominan dalam pemilihan lokasi pembangkit.

Semua aspek tersebut di atas harus dipertimbangkan sehingga didapatkan lokasi pembangkit yang paling layak dan menguntungkan. Namun karena lokasi PLT Biomassa berada di dalam area Kota Surabaya. maka aspek fisik, aspek kelistrikan dan aspek jalan masuk tidak menjadi pertimbangan yang penting. Aspek sumber bahan bakar dan air, aspek lingkungan dan aspek biaya merupakan tiga faktor yang menjadi inti dari pokok pembahasan dalam laporan studi ini.

C. Analisis Teknik dan Ekonomi

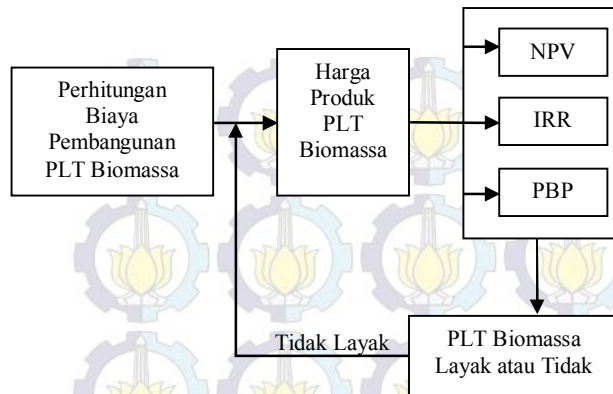
Pemilihan teknologi dilakukan berdasarkan analisis teknik dan ekonomi. Setelah mengetahui berapa jumlah bahan baku yang dibutuhkan dan jumlah produk (kapasitas) yang dihasilkan. selanjutnya sudah dapat dilakukan analisis teknik dan ekonomi. Analisis teknik dan ekonomi ini dilakukan untuk mengetahui apakah PLT Biomassa ini layak atau tidak untuk didirikan yang tetap mempertimbangkan pada komponen komponen teknis pendirian PLT Biomassa dari sampah organik TPA Benowo Surabaya. Oleh karena itu, sebelum menghitung analisis ke ekonomian, maka terlebih dahulu dilakukan secara teknik biaya pembangunan PLT Biomassa.

1. Teknik Analisis konversi energi listrik

Konversi energi listrik dari biomassa dilakukan dengan mengubah energi potensial yang ada dalam biomassa menjadi mekanik, kemudian energi mekanik menjadi energi listrik. Untuk menganalisis secara tekno ekonomi, terlebih dahulu mengetahui mengenai komponen biaya-biaya pendirian PLT Biomassa. Dalam pemilihan teknologi dilakukan berdasarkan pada teknologi yang mendukung dalam proses gasifikasi. Dalam pemilihan teknologi ini dilakukan dengan cara mencari literatur komponen teknologi yang efisien dan kinerjanya maksimal. Sehingga nanti dapat digunakan referensi untuk pembangunan PLT Biomassa.

2. Teknik Analisis Capital Budgeting

Teknik analisis *capital budgeting* dapat digunakan untuk menilai apakah suatu proyek dapat diterima atau tidak. Analisis utama dilakukan terhadap *net present value* (NPV), *internal rate of return* (IRR), dan *payback period* (PBP).



Gambar 1. Diagram Alir Analisis Teknik Ekonomi

a. Net Present Value (NPV)

NPV adalah nilai sekarang dari sejumlah keuntungan proyek yang terakumulasi sampai akhir usia proyek.

Net Present Value (NPV) dihitung dengan mengurangi investasi awal proyek (CF₀) dari nilai sekarang dari arus kas masuk (CF_t) pada tingkat suku bunga (*i*).

NPV = nilai sekarang kas masuk – Initial investasi

$$NPV = \sum_{t=1}^N \frac{CF_t}{(1+i)^t} - CF_0 \quad (2.3)$$

Bila NPV digunakan untuk membuat keputusan diterima-ditolak, kriteria keputusan adalah sebagai berikut:

- Jika NPV lebih besar dari 0, proyek diterima
- Jika NPV kurang dari 0, proyek ditolak

Jika NPV lebih besar dari 0, perusahaan akan mendapatkan pengembalian lebih besar dari biaya modal.

Suatu investasi dinyatakan layak (menguntungkan) apabila NPV bernilai positif, sebaliknya NPV bernilai negative menunjukkan bahwa investasi tidak layak (tidak menguntungkan). Adapun nilai NPV = 0 menunjukkan bahwa pengembalian investasi berada pada titik minimum kelayakan atau titik impas (*break-even point*).

b. Internal Rate of Return (IRR)

IRR adalah tingkat suku bunga yang menghasilkan nilai NPV sama dengan nol (karena nilai sekarang dari arus kas masuk sama dengan investasi awal).

$$0 = \sum_{t=0}^t \frac{X_t}{(1+IRR)^t} \quad (2.4)$$

Dengan :

X_t = Cashflow di tahun ke-*t*

IRR = Rate of Return

Apabila IRR digunakan untuk membuat keputusan diterima-ditolak, kriteria keputusan adalah sebagai berikut:

- Jika IRR lebih besar dari biaya modal, proyek diterima
- Jika IRR lebih kecil dari biaya modal, proyek ditolak

Suatu Proyek investasi dianggap layak apabila nilai IRR investasi tersebut lebih dari pada nilai MARR (*minimum acceptable rate of return*). Nilai MARR ditentukan berdasarkan tingkat bunga bank atau tingkat bunga bank ditambah risk premium yang mencerminkan tingkat resiko dari proyek tersebut serta ditambah tingkat keuntungan yang diharapkan investor. Dalam proyek teknik, biasanya nilai MARR berkisar antara 10%-13%. Sebaliknya, nilai IRR yang berada dibawah nilai MARR menunjukkan bahwa investasi tidak layak (tidak menguntungkan). Adapun nilai IRR = nilai MARR menunjukkan bahwa pengembalian

investasi berada pada titik minimum kelayakan atau titik impas (*break-even point*).

c. Payback Period (PBP)

Payback period biasanya digunakan untuk mengevaluasi usulan investasi. *Payback period* adalah jumlah waktu yang diperlukan bagi perusahaan untuk mengembalikan investasi awal dalam suatu proyek, yang dihitung sebagai kas masuk. Dalam kasus sebuah anuitas, payback period dapat diketahui dengan membagi investasi awal:

$$PBP = \frac{\text{Initial investment cost}}{\text{Annual cash inflowsh}} \quad (2.5)$$

- Jika PBP kurang dari maksimum PBP yang diterima, proyek akan diterima
- Jika PBP lebih besar daripada PBP yang diterima, proyek akan ditolak

Jangka waktu PBP maksimum yang diterima ditentukan oleh manajemen. Nilai ini ditetapkan secara subjektif berdasarkan sejumlah faktor, termasuk jenis proyek (ekspansi, penggantian, pembaharuan), risiko proyek dan hubungan antara PBP dan nilai saham

D. Perhitungan potensi pengurangan CO₂

Pemanfaatan biomassa sebagai pembangkit listrik merupakan salah satu alternatif dalam rangka mengganti/ substitusi pembangkit listrik tenaga fosil. Selain sumber-sumber energi fosil yang semakin terbatas, pembangkit listrik tenaga fosil melepaskan CO₂ akibat dari pemanfaatan pembakaran energi fosil. CO₂ merupakan salah satu emisi penghasil gas rumah kaca.

Perhitungan pengurangan emisi akibat mengganti/ substitusi bahan bakar fosil adalah sebagai berikut:

a. Menghitung besarnya energi listrik per tahun yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga biomassa. Persamaan yang digunakan adalah:

$$\text{energi listrik per tahun (MWh)} = \text{kapasitas tepasang pembangkit (MW)} \times 8760 \text{ h} \quad (2.6)$$

b. menghitung emission factor CO₂ pembangkit, Pesamaan yang digunakan adalah:

$$\text{emission factor (tCO}_2\text{/MWh)} = \text{Volume bahan bakar fosil/energy yang dihasilkan} \times \text{emission factor bahan bakar} \times \text{kandungan energi bahan bakar} \quad (2.7)$$

E. Analisis Sensitivitas

Setelah mendapatkan model pembangkit tenaga biomassa serta investasi dan pendapatannya. Maka perlu dilakukan analisa sensitivitas. Karena suatu studi ekonomi teknik tidak lepas dari faktor kesalahan. Kemungkinan parameter yang digunakan dalam melakukan studi lebih besar atau lebih kecil dari hasil estimasi yang diperoleh, atau berubah pada saat – saat tertentu. Perubahan yang terjadi pada nilai parameter akan mengakibatkan perubahan hasil yang didapat. Perubahan itu dapat menyebabkan layak atau tidaknya studi tersebut. Analisa ini akan memberikan gambaran sejauh mana suatu keputusan akan cukup kuat terhadap perubahan faktor - faktor yang mempengaruhinya. Faktor yang dipakai dalam analisa sensitivitas yaitu biaya investasi, tingkat bunga dan pendapatan [15].

III. ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

A. Potensi Bahan Baku untuk Produksi Syngas di TPA Benowo Surabaya

Pada penelitian yang dilakukan oleh Nikmah, (2012). Kuantitas Sampah basah TPA Benowo setiap hari sekitar 1245 ton pada tahun 2012. Penelitiannya membahas tentang kandungan sampah di Surabaya. Analisis yang dilakukan yaitu mencari parameter – parameter yang ada dalam *Proximate* dan *Ultimate*. lebih lengkapnya seperti pada tabel 1 dan 2.

Tabel 1. Analisis *Proximate* Sampah TPA Benowo

Analisis	Parameter	Satuan (w/w)	Nilai
<i>Proximate Analysis</i>	Kadar Air	%	58,90
	Volatil Solid	%	82,91
	Kadar Abu	%	17,09
	Nilai Kalor Sampah Organik	Kkal/kg	2741,25

Tabel 2. Analisis *Ultimate* Sampah TPA Benowo

Analisis	Parameter	Satuan (w/w)	Nilai
<i>Ultimate Analysis</i>	Total Karbon	%	49,78
	Hidrogen	%	5,53
	Nitrogen*	%	2,82
	Oksigen	%	45,59

*Laboratorium kualitas Lingkungan, Teknik Lingkungan-ITS, 2012

Pada tabel 1 Diketahui bahwa nilai kalor yang ada pada sampah organik TPA Benowo sebesar 2741,25 Kkal/kg. setelah diketahui nilai kalor pada bahan, selanjutnya nilai kalor digunakan untuk perhitungan kapasitas daya yang dihasilkan dari potensi yang ada. Penentuan kapasitas PLT Biomassa dilakukan menggunakan persamaan dibawah ini:

$$\text{HR Pusat Bruto} = \frac{\text{Laju Penambahan Kalor ke Pembangkit (Btu)}}{\text{Daya Pusat Bruto (kW)}} \quad (3.1)$$

Oleh karena itu 1kWh = 3412 Btu, setiap laju kalor itu berhubungan dengan efisiensi termal yang bersangkutan sebagai berikut:

$$\text{HR (Laju Kalor)} = \frac{3412 \text{ Btu}}{\eta_{th}} \quad (3.2)$$

Untuk mendapatkan daya, kuantitas sampah dan nilai kalor di konversi ke lbm dan Btu.

Pada penelitian ini pembangkit yang digunakan yaitu metode gasifikasi. Gasifikasi mempunyai efisiensi proses sebesar 75,15% [16]. Daya internal yang dibutuhkan sebesar 25% dari total daya.

Energi listrik yang dihasilkan dari pembangkit listrik metode gasifikasi sampah organik (Biomassa) di TPA Benowo dapat diperhitungkan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Jumlah bahan bakar per hari} &= 1245 \text{ ton} \\ &= 2744755,12 \text{ lbm} \\ \text{Nilai kalor sampah organik} &= 2741,25 \text{ Kkal/kg} \\ &= 4934,11 \text{ Btu/lbm} \\ \text{Efisiensi Pembangkit} &= 75,15 \% \end{aligned}$$

Jadi,

$$\text{HR (Laju Kalor)} = \frac{1 \text{ kWh}}{\eta_{th}} = \frac{3412 \text{ Btu}}{75,15\%}$$

$$\text{HR (Laju Kalor)} = 4540,253 \text{ Btu/kWh}$$

$$\text{HR Pusat Bruto} = \frac{\text{Laju Penambahan Kalor ke Pembangkit (Btu)}}{\text{Daya Pusat Bruto (kW)}}$$

$$\text{Daya Pusat Bruto} = \frac{114199,45 \text{ lbm} \times 4934,11 \text{ Btu/lbm}}{4540,253 \text{ Btu/kWh}}$$

$$= \frac{563472907,679 \text{ Btu/lbm}}{4540,253 \text{ Btu/kWh}}$$

$$= 124106 \text{ kW} = 124 \text{ MW}$$

Perhitungan didapatkan bahwa dengan efisiensi keseluruhan sebesar 75% daya yang didapatkan sebesar 124 MW. Selanjutnya menghitung daya internal yang dibutuhkan oleh pembangkit. Pembangkit membutuhkan 25 % dari kapasitas daya yang didapat.

Jadi,

$$\begin{aligned} \text{Daya Internal} &= 124 \times 25\% \\ &= 31 \text{ MW} \end{aligned}$$

Perhitungan daya internal untuk pembangkit sebesar 31 MW. Setelah diketahui kapasitas daya total dan daya internal maka untuk mengetahui daya bersih dari pengurangan antara daya total bruto dengan daya internal.

$$\begin{aligned} \text{Daya netto} &= 124 \text{ MW} - 31 \text{ MW} \\ &= 93 \text{ MW} \end{aligned}$$

Daya netto didapatkan sebesar 93 MW, daya ini yang nantinya di jual untuk pendapatan dari pembangkit.

B. Penentuan Lokasi PLT Biomassa

Pada penentuan lokasi harus mempertimbangkan 6 aspek yaitu aspek fisik lokasi, aspek kelistrikan, aspek jalan masuk, aspek bahan bakar, aspek lingkungan dan aspek biaya. Kota surabaya Aspek biaya berkaitan dengan biaya investasi dan biaya operasi pembangkit pada tiap-tiap lokasi yang dipilih, oleh karena itu sangat dominan dalam pemilihan lokasi pembangkit.

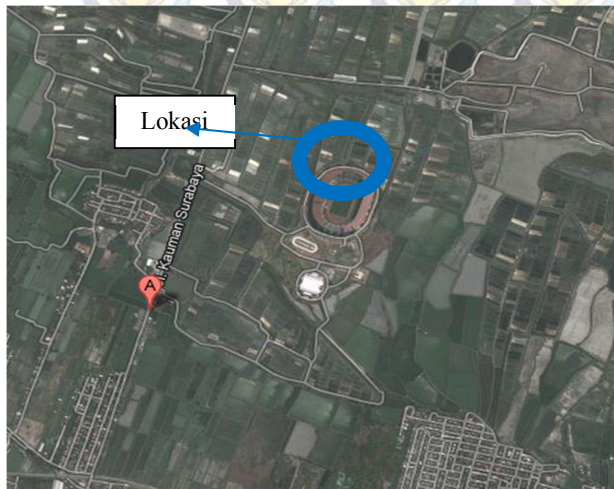
Perencanaan diketahui bahwa timbunan sampah kota Surabaya hanya di tampung di TPA Benowo dengan luas lahan ± 37 Ha sudah termasuk daerah pengembangan seluas 3,43 Ha. Sampah organik di Benowo sebanyak 1245 ton/hari. Dari segi aspek kelistrikan, produksi listrik PLT Biomassa ini direncanakan dapat memberikan dampak positif dengan berkontribusi terhadap pemenuhan konsumsi listrik di Surabaya, sekaligus memperbaiki kualitas suplai listrik di sekitar daerah Surabaya. Karna ketersediaan saat ini Jatim mencatatkan surplus daya mencapai 2.400 Mega Watt (MW). Namun besaran pasokan tersebut juga tidak bisa digunakan untuk menyelamatkan Surabaya dari ancaman krisis energi listrik. “Penyebab krisis listrik, lebih dipicu sulitnya kami melakukan penambahan gardu induk. Bahkan, sejak tahun 2010 tidak ada lagi penambahan gardu induk di Surabaya.”

Lokasi TPA Benowo, berada di area antara 07°9' – 07°21' lintang selatan dan 122°36' – 112°54' Bujur timur. Fasilitas umum di TPA Benowo diantaranya adalah masjid dan tanah lapangan. Fasilitas umum ini terletak di perkampungan penduduk di daerah Tambak Dono dan Benowo.

Sungai dan saluran drainase, Penggunaan tanah untuk prasarana berupa sungai dan saluran drainase di wilayah TPA Benowo terdiri dari Kali Lamong, Kali Sememi, Saluran Benowo, Saluran Rejosari dan saluran irigasi tambak ikan atau tambak garam.

Jalan arteri, yaitu Jl. Tambakdono, Jl. Pakal dan Jl. Tandes – Benowo Jalan Tol Surabaya – Gresik, mulai dari

Jl. Margomulyo sampai dengan Romokalisari. Rumija berkisar antara 40 m hingga 80 m, dimana Rumija sebesar 40 m berada disekitar km 6 dan Rumija sebesar 80 m di sekitar gerbang tol Romokalisari.

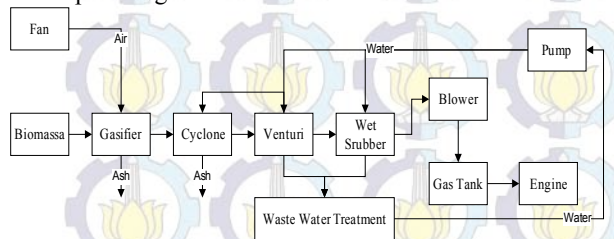


Gambar 2. Lokasi pembangunan PLT Biomassa

Pada analisa pemempatan Lokasi pembangunan, dipilih di benowo dekat dengan bahan baku dan jalan sudah bagus, sehingga untuk pembangunan PLT Biomassa dapat menurunkan biaya akibat dekatnya bahan baku dengan PLT Biomassa.

C. Analisis Teknik Ekonomi

Dalam analisis teknik dan ekonomi ini dibahas mengenai nilai keekonomian pembangunan PLT Biomassa dengan tetap mempertimbangkan komponen – komponen teknik pembangunan PLT Biomassa.



Gambar 3. Komponen Utama PLT Biomassa

Pada gambar 3. konfigurasi fasilitas peralatan PLT Biomassa, biomassa dimasukkan ke gasifier. Jenis gasifier ini cocok untuk skala 20 - 200 MW. Kapasitas pembangkit didapatkan dari perhitungan yaitu 124 MW. Bahan baku (sampah organik) biomassa yang dimasukkan sebesar 51,8 ton/jam. Dalam gasifier akan terjadi kontak antara bahan bakar dengan medium penggasifikasi didalam gasifier. Proses didalam gasifier ada 4 tahapan, yaitu pengeringan, pirolisis, oksidasi dan reduksi. Pada proses pengeringan bahan bakar dipanaskan pada temperature 100 – 300°C, hal ini bertujuan untuk mengurangi kadar air (*moisture*) yang terkandung dalam biomassa. Kemudian bahan bakar dipanaskan pada proses pirolisis yang dimulai pada temperature 300°C, hasil proses pirolisis berupa gas ringan (H_2 , CO , CO_2 , H_2O , dan CH_4), tar, dan arang. Selanjutnya bahan bakar dipanaskan pada proses oksidasi dengan temperature lebih dari 900°C, proses ini bertujuan untuk memecahkan substitusi tar sehingga kandungan tar yang dihasilkan lebih rendah. Proses ini dipengaruhi oleh

distribusi oksigen pada area terjadinya oksidasi karena adanya oksigen inilah dapat terjadi reaksi eksoterm yang akan menghasilkan panas yang dibutuhkan dalam keseluruhan proses gasifikasi ini. Tahap selanjutnya bahan bakar mengalami reaksi penyerapan panas (endoterm) dengan kisaran temperature 400 - 900°C, produk yang dihasilkan dari proses ini gas yang dapat terbakar seperti senyawa CO , H_2 dan CH_4 mulai terbentuk. Sehingga pada bagian ini disebut sebagai *producer gas*.

Selanjutnya dari gasifier yang menghasilkan *syngas* di salurkan ke *cyclone*, karna gas yang dihasilkan masih mengandung partikulat - partikulat dari reaktor, sulfur, klorida/gas asam (HCl) dan logam berat (Hg). *Cyclone* akan membersihkan *syngas* dari kotoran menggunakan *Filter cyclone* (seringkali dirancang sebagai tube berbentuk U) umumnya peralatan ini digunakan pada tahap pertama untuk membersihkan gas pada sistem gasifikasi. Selanjutnya dibersihkan kembali menggunakan venturi *scrubber* yang mana penggunaan teknologi ini akan menurunkan tekanan sehingga larutan dapat disemprotkan dengan mudah ke aliran gas. Kecepatan gas berkisar antara 60 - 125 m/detik di area “Tenggorokan”. Efisiensi pemisahan partikulat sebanding dengan penurunan tekanan di sepanjang venturi. Dengan penurunan tekanan antara 2,5-25 kPa, *scrubber* jenis ini dapat memisahkan 99,9% partikel berukuran di atas 2 m, dan 95-99% partikel 1 m. Selanjutnya untuk membersihkan sifat alami polutan yang terkandung dalam produser gas di gunakan *Wet Scrubber*. *Wet scrubber* akan mengumpulkan tar dengan cara melewati material ke dalam tetesan air. Tar dan cairan mengalir ke dalam *demister* atau *decanter* untuk kemudian dipisahkan. Penggunaan air di dalam *scrubber* ini menyebabkan aliran gas harus berada pada temperatur 35-60°C. *Wet scrubber* telah banyak digunakan dalam industri pemrosesan gas dan kinerjanya sudah sangat baik.

Setelah *syngas* yang dihasilkan bersih kemudian disalurkan ke penampung gas menggunakan blower dan diteruskan ke pembangkit listrik untuk memproduksi energi seperti uap dan listrik untuk digunakan dalam proses internal dan distribusi. Energi yang didistribusikan berupa listrik melalui perubahan Teknologi turbin gas menggunakan gas buang panas dalam berbagai cara untuk mencapai siklus yang sangat tinggi efisiensi. Suhu gas puncak siklus turbin gas adalah lebih dari 1200°C.

Jenis pembangkit yang dipilih adalah jenis gas engine. Jenis ini dipilih karena mampu memberikan pembangkitan listrik yang maksimum dari gas yang di suplai. Kapasitas gas engine 4,5 MW dengan efisiensi 25-25%.

1. Biaya Pembangunan PLT Biomassa

Biaya pembangunan PLT Biomassa dibagi menjadi 2 yaitu:

1. Biaya – biaya tetap berkaitan dengan pengeluaran untuk peralatan – peralatan yang dipakai pada suatu periode waktu seperti *reactor gasifier*, *cyclone*, dan bersifat independen terhadap besar tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik.
2. biaya – biaya tidak tetap berkaitan dengan pengeluaran untuk barang – barang yang dikonsumsi dalam periode waktu pendek dan tergantung pada besar tenaga listrik yang dihasilkan.

Dalam pemilihan alternatif – alternatif teknologi pembangkit tenaga listrik yang dipilih, maka analisis dari perbandingan biaya – biaya tetap dan tidak tetap terhadap

tenaga listrik yang dihasilkan merupakan pertimbangan utama dari sudut ekonomi, biaya ini diperoleh dari mengadopsi biaya yang dipakai oleh Dennis Y.C. Leung dkk, 2004.

2. Perhitungan Keekonomian

Perhitungan Keekonomian sangat penting karena terkait dengan kelayakan pembangunan PLT Biomassa. Apabila secara keekonomian pembangunan PLT Biomassa ini tidak menguntungkan, maka tidak akan ada investor yang tertarik untuk ikut menanamkan modalnya untuk membangun PLT Biomassa. Berikut langkah – langkah yang dipakai untuk perhitungan keekonomian adalah:

Asumsi :

1. Kapasitas Terpasang : 124 MW
2. Suku Bunga Pinjaman dari Bank : 15 %
3. Capacity Faktor : 80 %
4. Book Life of Investment (n) : 15 tahun
5. Waktu konstruksi : 1 tahun
6. Bahan Baku : Biomassa (Sampah Organik)
7. Biaya Investasi : Rp 1.801.721.888.000

Cash Flow

Investasi pada tabel diatas adalah biaya pembangunan PLT Biomassa 124 MW, sedang investasi pada tahun ke-1 adalah nilai *investasi* dikalikan dengan suku bunga.

Cash In

Jumlah pendapatan per tahun/*Cash in Flow* (CIF) dapat dihitung dari kWh output dikalikan harga jual listrik ke PLN.

Harga jual listrik ke PLN : Rp 975/kWh
(harga tarif biomassa sesuai PerMen 04/2012)

Tabel 3. Pendapatan Produk PLT Biomassa

Produk PLT Biomassa	Volume (kW)	Faktor Kapasitas (80%)	Harga Produk per kW (IDR)	Pendapatan pertahun dari 80 % kapasiras (IDR)
Listrik Internal	31000	24800	-	-
Listrik Dijual	93000	74400	975	522.288.000.000
Total				522.288.000.000

Berdasarkan tabel 3 diatas terlihat bahwa dengan harga produk yang ditetapkan oleh pemerintah serta beroperasi pada 80% dari kapasitas dengan jam kerja 7200 jam/hari, diperoleh pendapatan sebesar Rp 522.288.000.000

Cash Out

Tabel 4. Biaya PLT Biomassa

Biaya - Biaya	(IDR)
Biaya Pembangunan PLT Biomassa	932.000.300.000
Biaya O&M/ MW/Tahun	72.372.300.000

Berdasarkan tabel 4 diatas terlihat biaya pembangunan PLT Biomassa sebesar Rp 932.000.300.000, biaya Operasi dan pemeliharaan (O&M) sebesar Rp 72.372.300.000. Perhitungan biaya Investasi dan OM lebih detail di Lampiran A.1.

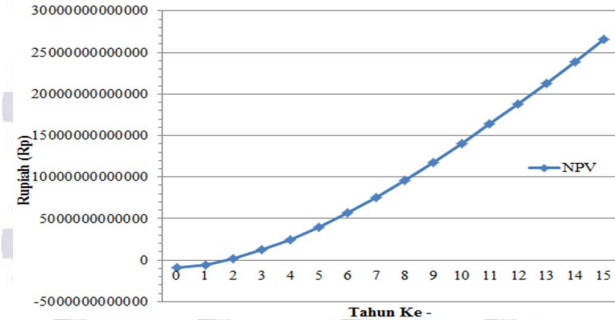
NPV (Net Present Value)

$$NPV = - 932.000.300.000 - \frac{72.372.300.000}{(1 + \%)^1} + \frac{522.288.000.000}{(1 + \%)^1}$$

$$= \text{Rp.} - 540.769.256.522$$

NPV pada tahun pertama bernilai (-) sehingga investasi tidak layak.

Pada perhitungan NPV ini dilakukan sampai pada tahun ke -15, untuk nilai NPV yang didapatkan sampai tahun ke -15 bisa dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 4. NPV pada tahun ke 1 – 15

Pada Gambar 4 diketahui bahwa NPV bernilai positif pada tahun ke – 2. Jadi PLT Biomassa bisa dikatakan layak untuk dibangun. Perhitungan lebih detail terdapat di Lampiran B.1.

IRR (Internal Rate Return)

$$NPV = - 932.000.300.000 - \frac{72.372.300.000}{(1 + i\%)^{15}} + \frac{522.288.000.000}{(1 + i\%)^{15}}$$

$$0 = - 932.000.300.000 - \frac{449.915.700.000}{(1 + i\%)^{15}}$$

$(1 + i\%)^{15} = 2,07 \rightarrow$ Dari tabel *Compound Interest Factor* diperoleh

$$i = 47,63\%$$

Nilai IRR = 47,63% > 15%, maka investasi dikatakan layak

PBP (Pay Back Period)

Tabel 5. Pay Back Period

Tahun	Biaya	Pendapatan	Selisih
1	1004372600000	522288000000	-482084600000
2	1076744900000	1044576000000	-32168900000
3	1149117200000	1566864000000	417746800000
4	1221489500000	2089152000000	867662500000
5	1293861800000	2611440000000	1317578200000

Dari tabel 5 dapat dilihat bahwa *Pay Back Period* untuk harga jual energi PLT Biomassa Rp 975 tercapai pada tahun ke 3.

D. Perhitungan Potensi Pengurangan Emisi

Berikut kemungkinan penurunan emisi gas rumah kaca yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga biomassa.

$$1 \text{ MWh} = 0,963 \text{ tCO}_2$$

Pembangkit listrik tenaga Biomassa di Surabaya mempunyai kapasitas 124 MW. Jadi,

$$124 \text{ MW} \times 0,8 \times 24 \text{ h} = 2380,8 \text{ MWh}$$

Prediksi eduksi Emisi

$$2380,8 \text{ MWh} \times 0,963 \text{ tCO}_2/\text{MWh} = 2292,71 \text{ tCO}_2$$

Perencanaan pembangkit ini berjalan 1 tahun dapat diketahui dengan mengalikan jumlah hari aktif.
 Dalam 1 tahun = $2292,71 \text{ tCO}_2 \times 300/\text{tahun}$
 = $687813,12 \text{ tCO}_2/\text{tahun}$

Namun ketika pembangkit ini direncanakan berjalan selama 15 tahun maka dapat dihitung dengan mengalikan hasil dalam 1 tahun dengan 15 tahun. Jadi,
 Dalam 15 tahun = $687813,12 \text{ tCO}_2 \times 15 \text{ tahun}$
 = $10317196,8 \text{ tCO}_2$

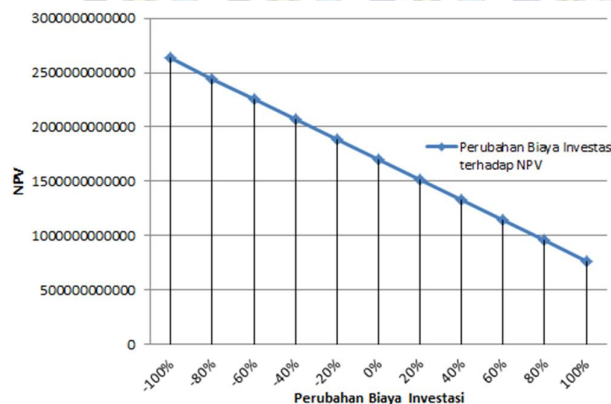
Sehingga dimungkinkan pada PLT Biomassa dapat mengurangi emisi gas rumah kaca sebesar $5657817,6 \text{ tCO}_2$ selama 15 tahun atau sebesar $687813,12 \text{ tCO}_2/\text{tahun}$.

E. Analisis Sensitivitas

Analisis sensitivitas ini akan diuji menggunakan skenario yang layak. Pengujian ini berdasarkan perhitungan yang telah didapat. Analisis ini meliputi eskalasi biaya Pembangkit, dan tingkat suku bunga, dan pendapatan terhadap nilai NPV.

1. Eskalasi biaya Pembangkit sampai $\pm 100\%$, dari biaya pembangkit yang di estimasikan maka nilai NPV-nya akan menjadi:

Untuk perhitungan lebih detail terdapat di Lampiran C.1. Bila di plot kedalam bentuk grafik dapat dilihat di gambar 5 dibawah.



Gambar 5. Hubungan Perubahan biaya Investasi Terhadap NPV

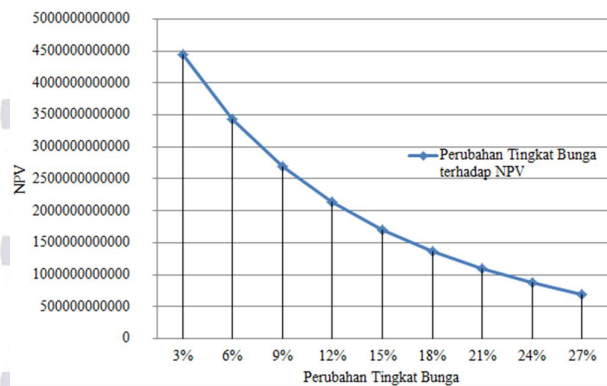
Alternatif tersebut akan menjadi tidak layak bila perubahan nilai investasi menyebabkan nilai NPV menjadi lebih kecil dari nol. NPV akan sama dengan nol bila besarnya investasi adalah:

$$P = 449.915.700.000 \cdot (P/A, 15\%, 15) \\ = 449.915.700.000 \cdot (5.8474) \\ = 2.630.837.064.180$$

Jadi, investasi tersebut menjadi tidak layak bila investasi yang dibutuhkan lebih dari Rp. 2.630.837.064.180 atau meningkat sebesar 182% dari investasi awal yang diestimasikan sebesar Rp 932.000.300.000

2. Eskalasi tingkat bunga sampai $\pm 80\%$, dari tingkat bunga yang digunakan, maka nilai NPV akan menjadi:

Untuk perhitungan lebih detail terdapat di Lampiran C.2. Bila di plot kedalam bentuk grafik dapat dilihat di gambar 6 dibawah.



Gambar 6. Hubungan Perubahan Tingkat Bunga Terhadap NPV

Alternatif tersebut akan menjadi tidak layak bila NPV lebih kecil dari 0. Batas perubahan ini akan diperoleh dengan menghitung nilai IRR, yaitu suatu tingkat bunga yang menyebabkan NPV = 0. NPV = 0 jika:

$$\begin{aligned} NPV &= -932.000.300.000 + (522.288.000.000 - 72.372.300.000) \cdot (P/A, i\%, 15) \\ 0 &= -932.000.300.000 + (522.288.000.000 - 72.372.300.000) \cdot (P/A, i\%, 15) \\ (P/A, i\%, 15) &= 2,07 \\ i &= 47,63\% \end{aligned}$$

Jadi, keputusan akan berubah jika i menjadi lebih besar dari 47,63% atau bila meningkat sekitar 217% dari nilai i awal yang ditetapkan sebesar 15%.

3. Eskalasi Pendapatan sampai $\pm 100\%$, dari Pendapatan yang didapat, maka nilai NPV-nya akan menjadi:

Untuk perhitungan lebih detail terdapat di Lampiran C.3. Hubungan antara besarnya perubahan pendapatan tahunan $\pm 100\%$ terhadap nilai NPV dari alternatif tersebut diperlihatkan pada gambar 7.



Gambar 7. Hubungan Perubahan Pendapatan Terhadap NPV

Alternatif tersebut akan menjadi tidak layak bila perubahan Pendapatan per tahun mengakibatkan nilai NPV kurang dari nol.

$$\begin{aligned} P &= -72.372.300.000 \cdot (P/A, 15\%, 15) + 522.288.000.000 \cdot (P/A, 15\%, 15) \\ &= 449.915.700.000 \end{aligned}$$

Jadi, biaya pendapatan menjadi tidak layak bila turun sebesar 69% per tahun atau sekitar Rp. 360.378.720.000

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

1. Berdasarkan analisa diperoleh bahwa estimasi timbunan sampah organik di Surabaya tahun 2012 mencapai 454220,38 ton/tahun. dengan rata-rata produksi sampah mencapai 1245 ton/hari.
2. Aspek Teknik, potensi Biomassa yang ada di Surabaya bisa digunakan sebagai bahan bakar pembangkit energi listrik berkapasitas 124 MW menggunakan metode gasifikasi.
3. Aspek lingkungan, pemanfaatan biomassa sebagai pembangkit menghasilkan 687813,12 tCO₂/tahun.
4. Aspek ekonomi, analisa biaya investasi sebesar Rp 932.000.300.000. Pada suku bunga 15% biaya investasi dapat dikembalikan pada tahun ke – 3 sehingga investasi layak dibangun dengan nilai IRR 47,63%.
5. Berdasarkan analisa sensitivitas yang digunakan untuk perubahan biaya investasi berpengaruh terhadap NPV. NPV dikatakan tidak layak jika mengalami perubahan 182 % dari investasi awal, tingkat suku bunga yang digunakan lebih dari 47,63% dan biaya pendapatan turun hingga 69% pertahun.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterimakasih kepada kedua orang tua yang senantiasa mendoakan. Kepada Ketua Jurusan, Dosen Pembimbing, Seluruh Dosen Teknik Fisika dan segenap jajaranya. Penulis juga berterimakasih kepada Direktorat Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia yang telah memberikan dukungan finansial melalui Beasiswa Bidik Misi tahun 2010-2014.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pusat Statistik. 2012. “Jumlah penduduk menurut kecamatan dan jenis kelamin series tahun”, <URL: <http://surabayakota.bps.go.id/index.php?hal=tabel&id=4>>
- [2] Badan Pusat Statistika. 2002. informasi data pokok kota surabaya tahun 2012. Surabaya
- [3] Dinas Pendapatan Dan Pengelolaan Keuangan.. 2008. Gambaran Umum Dan Kondisi Wilayah Kota Surabaya 2010. Surabaya
- [4] Cherubini, F., Bargigli, S., Ulgiati, S. 2008. “Life Cycle Assessment Of Urban Waste Management: Energy Performances and Environmental Impacts”. The case of Rome, Italy. Waste Management 28, 2552–2564.
- [5] Liamsanguan, C. dan Gheewala, S.H. 2008. “The Holistic Impact of Integrated Solid Waste Management on Greenhouse Gas Emissions in Phuket”. Journal of Cleaner Production. 16, 1865-1871.
- [6] Dinas Kebersihan Kota Surabaya. 2001. Dalam Profil Kota Surabaya. Surabaya. Jawa timur
- [7] Dinas Kebersihan dan Pertamanan, 2012 dalam Laporan Status Lingkungan Hidup Daerah Kota Surabaya Tahun 2012. Balai Lingkungan Hidup. 2012
- [8] Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomer 18 Tahun 2008 Tentang Pengolahan Sampah.
- [9] Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomer 5 Tahun 2006 Tentang Kebijakan Energi Nasional
- [10] Buku Putih Indonesia 2005-2025. 2006. “Penelitian, Pengembangan dan Penerapan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi bidang Sumber Energi baru dan Terbarukan untuk Mendukung Keamanan Ketersediaan Energi Tahun 2025” Kementerian Negara Riset dan Teknologi Republik Indonesia. Jakarta
- [11] Sinarep. 2011. Perancangan Reaktor Gasifikasi Batubara pada Pengeringan Daun Tembakau Virginia di NTB (*Coal Gasification Reactor Design on the Drying of Tobacco Leaves in Virginia NTB*). Jurusan Teknik Mesin, Universitas Mataram. Mataram
- [12] Winaya, I.N.S., Sucipta, M., dan Susila, I. D. M. 2011. “Pengaruh Temperatur Operasi Dan Kecepatan Superfisial Terhadap Komposisi Gas Produser Pada Gasifikasi Fluidized Bed Berbahan Bakar Sampah Terapung”. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cakra Vol 5. Halaman 85-90.

- [13] Partha, I. G. C.. 2010. Penggunaan Sampah Organik Sebagai Pembangkit Listrik di TPA Suwung – Denpasar. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana
- [14] Febijanto, I. 2011. “Kajian Teknis &Keekonomian Pembangkit Listrik Tenaga Biomasa Sawit; Kasus: Di Pabrik Kelapa Sawit Pinang Tinggi, Sei Bahar, Jambi”. Pusat Teknologi Pengembangan Sumberdaya Energi, Deputi Teknologi Informatika, Energi dan Mineral- BPPT. Jakarta. Vol. 02, No 1, pp 11-22, 2011
- [15] Pujawan, Nyoman I., Ekonomi Teknik. Cetakan Pertama. Edisi Kedua. 2009
- [16] Janajreh, I., Raza, I. I., Valmundsson, A.S. 2012. “Plasma gasification process: Modeling, simulation and comparison”. Energy Conversion and Management xxx.xxx-xxx.